

EFEK PENAMBAHAN CAMPURAN SERAT BAJA DAN SERAT POLYPROPYLENE DENGAN AGREGAT BREKSI BATU APUNG TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON RINGAN

ABSTRAK

Beton ringan struktural sangat efektif untuk wilayah rawan gempa. Beton ringan struktural dapat diproduksi dengan menggunakan agregat ringan alami yaitu *pumice*. Selain ramah lingkungan keuntungan *pumice* juga tahan gempa, lebih murah dan mudah didapat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi campuran serat baja dan serat *polypropylene* terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton ringan.

Persentase penambahan serat dalam adukan beton ringan dipakai 1 (satu) variasi untuk serat *polypropylene* yaitu 0,1 %, dan 5 (lima) variasi serat baja yaitu: 0 %; 0,5 %; 1 %; 1,5 %; 2%. Dibutuhkan material benda uji beton dalam satu meter kubik dengan f.a.s 0,45 sebanyak semen 455 kg/m³, air 225 liter/m³, pasir 538,524 kg/m³ dan *pumice* 606,812 kg/m³. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan setelah beton berumur 56 hari dengan 3 (tiga) benda uji silinder berukuran 15 x 30 cm.

Dari hasil penelitian, dengan penambahan serat *polypropylene* 0,1 % dan serat baja 0 %; 0,5 %; 1 %; 1,5 % dan 2%. Didapatkan nilai kuat tekan maksimal pada penambahan serat baja 1 % sebesar 20,14 MPa. Nilai modulus elastisitas maksimal terjadi pada penambahan serat baja 0,5 % sebesar 9125,92 MPa. Komposisi optimum penambahan variasi serat baja terhadap breksi batu apung beton ringan sebesar 1%.

Kata Kunci : *pumice*, *polypropylene*, serat baja, kuat tekan, modulus elastisitas.

THE EFFECT OF ADDING STEEL FIBERS MIXED AND POLYPROPYLENE FIBER WITH AGGREGATE PUMICE BRECCIA ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND MODULUS OF ELASTICITY OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

ABSTRACT

Structural lightweight concrete is very effective for earthquake-prone region. Structural lightweight concrete can be produced by using natural lightweight aggregate is pumice. In addition to environmentally friendly advantages pumice also earthquake resistant, less expensive and easier to obtain. This study aims to determine the composition of the mixture of steel

fibers and polypropylene fibers on the compressive strength and modulus of elasticity of lightweight concrete.

Percentage increase in fiber lightweight concrete miz used 1 (one) variations for polypropylene fiber is 0.1%, and 5 (five) variation of steel fibers, namely : 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2% . it takes material concrete specimen in one cubic meter with fas 0.45 a total cement 455 kg/m³, 225 liter/ m³ water, sand 538,524 kg/ m³ and pumice 606.812 kg/ m³. Testing were conducted is the compressive strength and modulus of elasticity performed after of 56 day old concrete with 3 (three) cylinder specimens measuring 15 x 30 cm.

From the resultof the research, with the addition of polypropylene fibers 0.1% and steel fibers 0%, 0.5%, 1%, 1.5% and 2% getting the value of the maximum compressive strength in the addition of steel fibers 1% of 20.14 Mpa. Value of the maximum of modulus of elasticity occuring in the addition of steel fibers 0.5% at 9125.92 Mpa. The optimum composition of the increased variety of steel fibers to breccia pumice lightweight concrete at 1%.

Keywords : *pumice, polypropylene, steel fibers, compressive strength, modulus of elasticity*

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Beton sudah tidak asing lagi di kalangan masyarakat luas. Sebagian besar gedung-gedung dan sarana infrastruktur di daerah kota menggunakan beton sebagai bahan dasar pada bangunan mereka. Penggunaan beton pada gedung dilakukan dalam rangka menghemat pengeluaran dalam suatu proses konstruksi. Selain harganya yang terjangkau beton juga memiliki kuat tekan yang tinggi. Penggunaan beton akhirnya menimbulkan banyaknya jenis dari beton itu sendiri. Salah satunya adalah Beton Ringan (*lightweight concrete*). Kebutuhan beton ringan dalam berbagai aplikasi teknologi konstruksi modern meningkat dengan cepat. Hal ini disebabkan karena berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan teknologi beton ringan di antaranya, berat jenis beton yang lebih kecil sehingga dapat mengurangi berat sendiri elemen struktur yang mengakibatkan kebutuhan dimensi elemen struktur penahannya menjadi lebih kecil. Beban mati struktural yang lebih kecil ini juga dapat memberikan keuntungan dalam pengurangan ukuran pondasi yang diperlukan.

Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) menyimpan potensi yang sangat besar untuk pengembangan produk berbasis breksi batu apung (*natural pumice*). Cadangan *pumice* yang tersimpan di DIY tercatat lebih dari 350 juta m³, yang meliputi wilayah Kabupaten Bantul sebesar ±57,3

juta m³, Kabupaten Gunung Kidul ± 122,9 juta m³, dan Kabupaten Sleman ± 214,8 juta m³, dimana masing lokasi terletak relatif saling berdekatan (Tjokrodimulyo, 2007). Hasil uji awal yang telah dilakukan menunjukkan bahwa breksi batu apung yang berada pada formasi batuan Semilir di wilayah DIY memiliki bobot isi kering gembur 760 kg/m³ dan berat jenis 1600 kg/m³. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa breksi batu apung memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi beton ringan struktural.

Tersedianya deposit *pumice* yang melimpah ini menawarkan berbagai keuntungan yaitu; 1) *pumice* lebih ramah lingkungan (tidak banyak menimbulkan polusi udara berupa gas CO₂ sehingga tidak memicu *global warming*) karena dapat dimanfaatkan tanpa melalui proses pembakaran, tidak seperti agregat ringan buatan yang membutuhkan proses pembakaran, 2) Lebih murah karena tersebar secara luas di wilayah DIY bahkan Indonesia, 3) Dapat menyerap tenaga kerja di sekitar lokasi penambangan, 4) Karena ringan, tukang bangunan tidak cepat lelah. Sehingga cepat dalam pengerjaannya, 5) Tahan lama, kurang lebih sama tahan lamanya dengan beton konvensional 6) Anti jamur, tahan gempa dan anti serangga.

Pemerintah daerah dan industri-industri yang terkait belum banyak memanfaatkan potensi batu apung ini. Karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk dapat menghasilkan beton ringan struktural yang memenuhi persyaratan ACI Committee 211 (2004), yang dipersyaratkan memiliki kuat tekan minimal 17,2 MPa dengan berat jenis maksimal 1842 kg/m³ (*ACI Manual of Concrete Practice*, 2006).

Kekuatan beton sangat ditentukan oleh kekuatan agregat dan kekuatan bahan pengikatnya. Dengan demikian, salah satu faktor yang dapat dioptimalkan untuk mendapatkan beton ringan struktural adalah kekuatan bahan pengikat. Dalam penelitian ini akan dilakukan optimasi penambahan serat untuk meningkatkan kekuatan beton dalam menahan laju perkembangan retak akibat bekerjanya beban.

B. Identifikasi Masalah

1. *Trial mix* mendapatkan beton ringan struktural dengan agregat breksi batu apung yang memenuhi standar perencanaan beton bertulang.
2. Kajian durabilitas beton ringan berkaitan dengan komposisi material yang digunakan.
3. Kajian kinerja struktural beton ringan pada struktur beton bertulang terutama sebagai material untuk konstruksi semi pracetak.
4. Studi kelayakan terkait investasi pabrik beton ringan pracetak disekitar lokasi deposit breksi batu apung.

C. Batasan Masalah

1. Pengujian hanya dilakukan terhadap sifat kuat tekan dan modulus elastisitas
2. Jenis beton ringan struktural yang akan dikembangkan adalah beton dengan agregat kasar breksi batu apung dan agregat halus pasir alami.
3. Rencana campuran adukan beton menggunakan metode volume absolute.
4. Pengadukan beton ringan menggunakan teknik *pre-wetting*.

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi penambahan serat campuran serat baja dan serat *polypropylene* terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh variasi penambahan serat campuran serat baja dan serat *polypropylene* terhadap modulus elastisitas beton?
3. Berapa komposisi optimum dalam variasi penambahan serat baja?

E. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mengetahui komposisi serat campuran *polypropylene* dan serat baja terhadap kuat tekan beton ringan.
2. Mengetahui komposisi serat campuran *polypropylene* dan serat baja terhadap modulus elastisitas beton ringan.
3. Mengetahui komposisi optimum dalam variasi penambahan serat baja.

F. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini meliputi :

1. Manfaat teoritis
Mengembangkan beton ringan berbasis material lokal. Untuk penggunaan dan perancangan campuran material dalam menghasilkan beton ringan struktural dengan memanfaatkan breksi batu apung.
2. Manfaat praktis
Merumuskan campuran adukan beton ringan dengan agregat kasar breksi batu apung sebagai langkah awal dalam pengembangan *prototype* produk beton ringan pracetak struktural.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton normal merupakan bahan yang cukup berat, dengan berat jenis 2,4 atau 2400 kg/cm^3 . Untuk mengurangi beban mati pada suatu struktur beton maka telah banyak dipakai jenis beton ringan. Beton ringan memiliki berat kurang dari 1850 kg/m^3 (Tjokrodimulyo, 2007).

Beton serat dapat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan sejumlah serat (*fibre*) yang tersebar secara acak dalam matriks campuran beton segar (Hannant, 1978). Pada pengujian kuat tekan beton berserat diperoleh modulus elastisitas dengan beban hancur maksimum. Dari hasil pencatatan defleksi diperoleh nilai regangan yang terjadi pada saat beban maksimum dan perilaku kurva beban (P) dengan defleksi (δ) atau perilaku kurva tegangan-regangan. Perubahan modulus elastisitas akibat penambahan serat sangat kecil. Penambahan serat pada beton normal dapat meningkatkan tegangan pada beban puncak. Beton berserat menyerap energi yang lebih besar dari pada beton normal sebelum hancur (*failure*). Peningkatan penyerapan energi ini terjadi hanya pada batasan 0 – 0,7 % volume fraksi, apabila kandungan serat dinaikkan lagi sehingga fraksinya menjadi lebih besar dari 0,7 %, maka kenaikan energi yang terjadi tidak terlalu besar. Beton bermutu tinggi lebih getas (*brittle*) dibandingkan dengan beton normal, dan dengan penambahan serat dihasilkan beton yang lebih daktil.

Menurut ASTM C.330, agregat ringan ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu: Agregat ringan buatan (*artificial aggregates*) yang dihasilkan dari pembekahan (*expanding*), kalsinasi (*calcining*) atau hasil *sintering*, misalnya dapur tanur tinggi, tanah liat, diatome, abu terbang. Agregat alam (*natural*) yang dihasilkan melalui pengolahan bahan alam, misalnya skorja, batu apung (*pumice*). Agregat kasar yang digunakan dalam campuran ini adalah agregat kasar ringan alami yaitu batu apung (*pumice*).

Batu apung (*pumice*) adalah salah satu jenis dari batu sedimen, yaitu batuan vulkanis yang bobotnya ringan karena sangat berpori akibat keluarnya udara dari lava yang meleleh saat terjadi letusan gunung api. Karena bobotnya yang ringan, jika digunakan sebagai agregat dalam pembuatan beton maka diperoleh beton yang ringan. (Shetty dalam Tjokrodinulyo:1977). Batu apung (*pumice*) merupakan batuan yang berwarna terang dan biasanya berwarna seperti ada lapisan kaca dengan berat satuan 500 – 900 kg/ m³ (Mulyono, 2005).

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas. Besarnya kekuatan tekan suatu bahan merupakan perbandingan besarnya beban maksimum yang dapat ditahan bahan dengan luas penampang bahan yang mengalami gaya tersebut. Secara matematis besarnya kekuatan tekan suatu bahan :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

σ = Kuat tekan benda uji silinder (MPa)

P = Beban maksimum (kN)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Berdasarkan ASTM C469-02, menurut *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. Besaran modulus elastisitas benda uji dihitung dengan Persamaan 7.

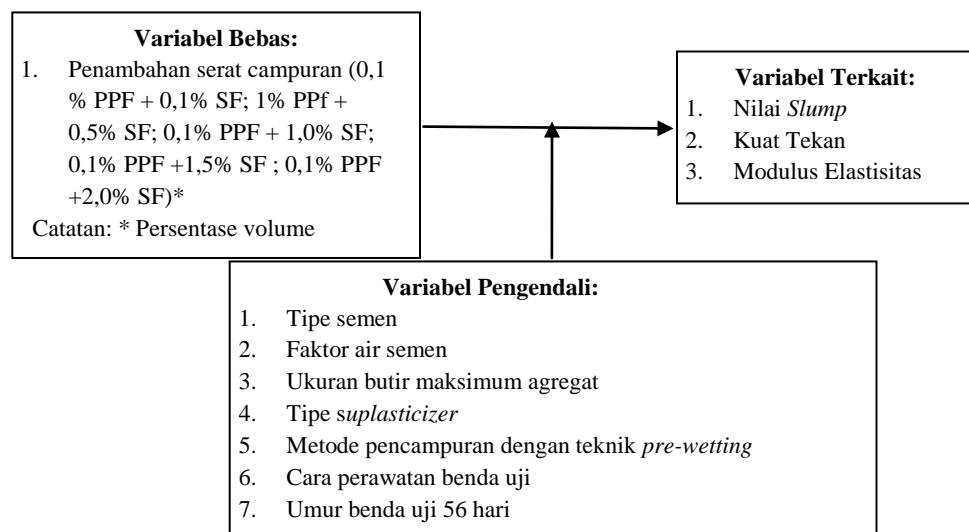
$$\text{Modulus Elastisitas} = \frac{(0,4 f'c)}{(\varepsilon 0,4 f'c)} - \frac{(f'c 0,00005)}{(\varepsilon 0,00005)} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

ε = Regangan

METODOLOGI PENELITIAN

A. Variabel Penelitian



Gambar 1. Hubungan Variabel Penelitian

B. Peralatan

1. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan kapasitas 310 gram, 10 kg dan 50 kg.
2. Oven yang digunakan harus dapat memanaskan sampai temperatur 110 derajat *celcius*.
3. Kompor listrik digunakan kompor listrik untuk memanaskan belerang.
4. Gelas ukur yang dipakai gelas ukur dengan ketelitian 1 ml dan 20 ml.
5. Jangka sorong digunakan pada saat mengukur diameter silinder dan tinggi silinder.
6. Ayakan berfungsi untuk memisahkan kerikil dan pasir.
7. Alat pelurus digunakan bersamaan dengan pelat *capping* agar benda uji silinder tegak lurus.
8. Pelat *capping* untuk mencetak belerang agar permukaan beton menjadi rata.

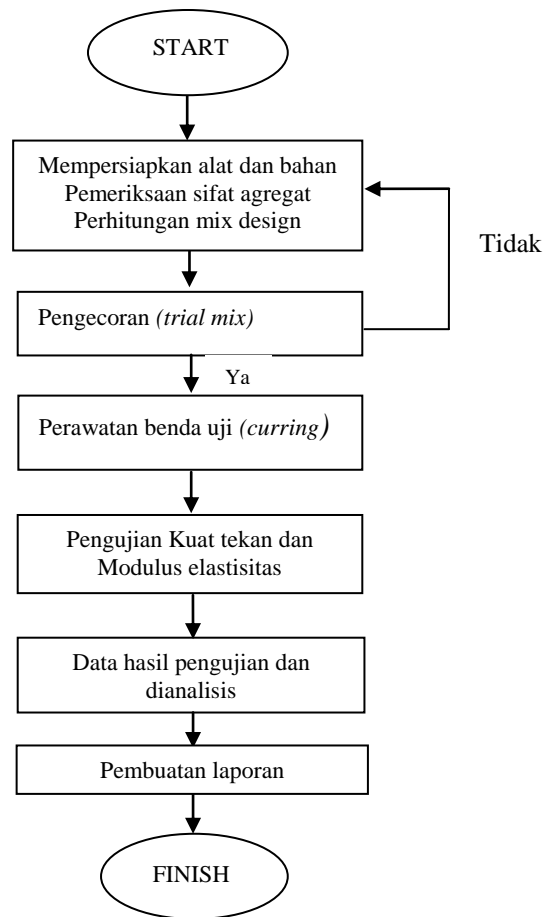
9. Mesin *Los Angeles* digunakan untuk menguji ketahanan aus dan kekerasan agregat kasar.
10. Cetakan beton yang digunakan yaitu cetakan silinder berukuran 15 X 30 cm.
11. Cincin uji modulus elastisitasi berbentuk cincin dengan dial pembaca.

C. Material

1. Agregat yang digunakan berupa breksi batu apung dengan diameter maksimum 19 mm berasal dari Desa Bawuran, Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul.
2. Agregat halus atau pasir yang digunakan adalah pasir alami yang berasal dari aliran sungai Kabupaten Sleman.
3. Air bersih dari Laboratorium bahan bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
4. Jenis semen yang digunakan adalah semen Portland pozolan.
5. Serat baja dengan diameter $\pm 0,70$ mm dan *aspect ratio* ± 60 berjenis *end-hooked*.
6. Serat *polypropylene* monofilament dengan diameter 18 μ m dan panjang 12 mm.
7. *Superplasticizer* diperoleh dari produk komersial berbasis *naphthalene sulphonate*.

D. Prosedur Penelitian

- | | |
|-----------|---|
| Tahap I | : Pemeriksaan sifat bahan agregat kasar dan agregat halus. |
| Tahap II | : Perhitungan rencana campuran(<i>mix design</i>). |
| Tahap III | : Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton. |
| Tahap IV | : Analisis dan interpretasi data hasil penelitian dengan metode deskriptif kuantitatif. |



Gambar 2. Diagram alur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Proporsi Campuran

Tabel 1. Kebutuhan material tiap meter kubik

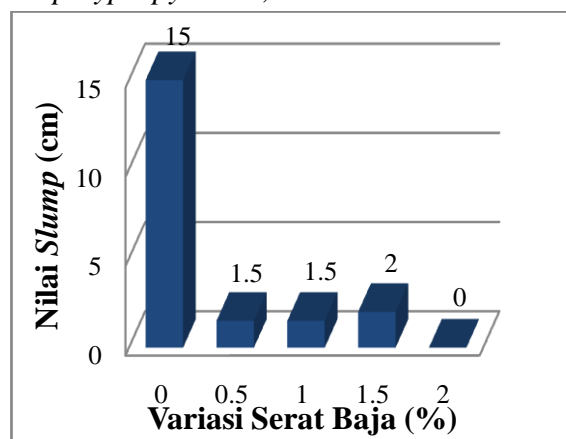
No	Nama material	Kebutuhan material tiap meter kubik (kg/m ³)
1	Semen	455
2	Pasir	538,524
3	<i>Pumice</i>	606,812
4	Air	225
5	<i>Sikament NN</i>	4,7 kg (3,983 ml)
6	<i>Plastiment N</i>	0,825 kg (0,699 ml)
7	Bahan tambah mineral	45

Tabel 2. Kebutuhan material dalam sekali adukan

No	Nama material	Kebutuhan material untuk sekali adukan (kg)
1	Semen	9,1
2	Air	4,5
3	<i>Pumice</i>	12,136
4	Pasir	10,77
5	<i>Plastiment N</i>	0,014 kg (12 ml)
6	<i>Sikament NN</i>	0,094 kg (80 ml)
7	Bahan tambah mineral	0,9

2. *Workability (slump)*

Hasil pengujian nilai *slump* pada masing-masing benda uji dengan penambahan serat *polypropylene* 0,1%.

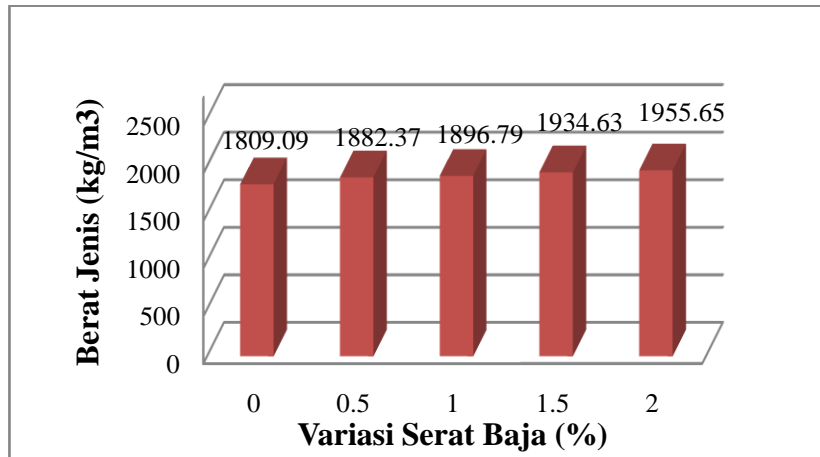


Gambar 3. Hasil pengujian nilai *slump* terhadap variasi serat baja

Berdasarkan diagram hasil pengujian nilai *slump* menunjukkan semakin banyak jumlah serat yang dipakai dalam campuran beton *workability* akan semakin menurun. Karena, banyaknya jumlah serat yang dipakai akan membuat beton segar menjadi lebih kental dan nilai *slump* akan semakin kecil. Semakin kecil nilai *slump* tingkat kemudahan pengerjaan beton akan semakin sulit.

3. Berat jenis beton

Hasil pengujian berat jenis beton pada masing-masing benda uji dengan penambahan serat *polypropylene* 0,1%.

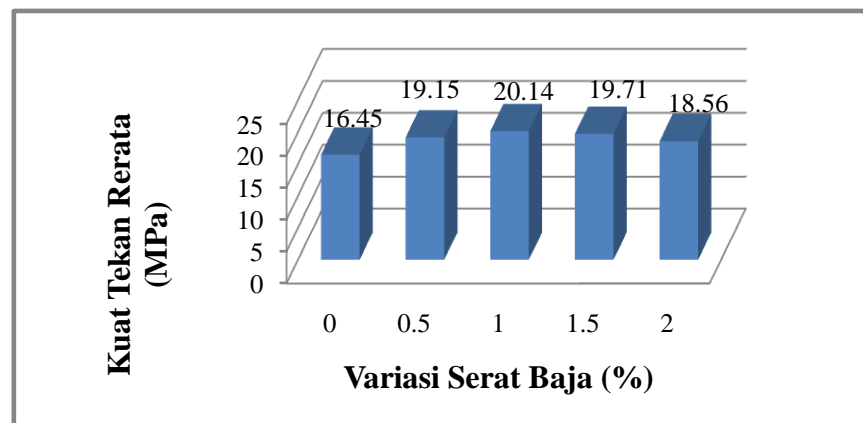


Gambar 4. Hubungan antara variasi serat terhadap berat beton ringan.

Pada pengujian berat jenis beton adanya peningkatan nilai berat jenis disetiap penambahan variasi serat. Nilai rerata berat beton ringan agregat breksi *pumice* dengan variasi penambahan campuran serat baja 0%, 0,5 %, 1%, 1,5%, 2% serat *polypropylene* 0,1% berturut-turut sebesar 4,05 %, 4,85 %, 6,94 % dan 8,10 %.

4. Hasil pengujian kuat tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton pada masing-masing benda uji dengan penambahan serat *polypropylene* 0,1%.

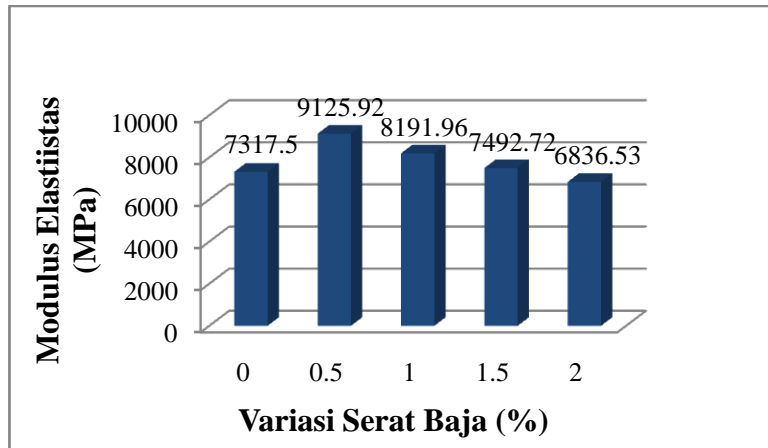


Gambar 5. Kuat tekan dengan variasi serat baja dan serat *Polypropylene*

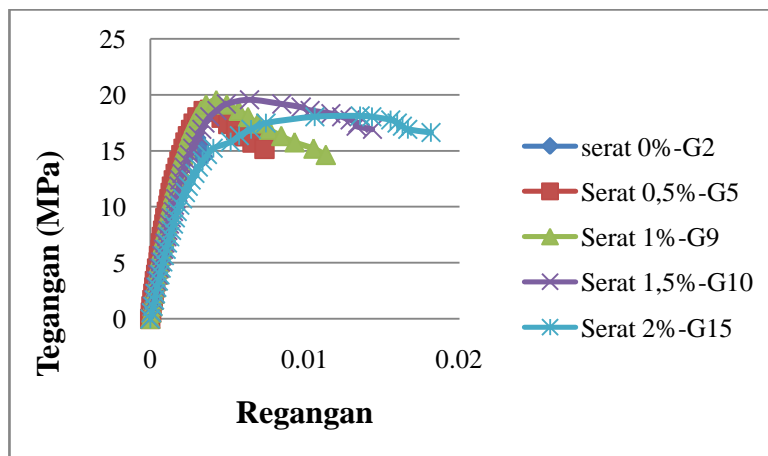
Pada penambahan serat baja sebesar 0,5% hingga 1%, terjadi kenaikan kuat tekan pada beton ringan agregat breksi *pumice* sebesar 16,41 % dan 22,43 % terhadap penambahan serat 0 %. Sedangkan pada penambahan serat sebesar 1,5 % dan 2% menunjukkan adanya penurunan kuat tekan berturut-turut sebesar 8,51 % dan 5,06% terhadap penambahan serat 1%. Semakin banyak serat nilai kuat tekan akan semakin turun dan akan mengurangi daya ikat beton itu sendiri.

5. Hasil Pengujian modulus elastisitas

Hasil pengujian nilai *slump* pada masing-masing benda uji dengan penambahan serat *polypropylene* 0,1%.



Gambar 6. Modulus elastisitas rata-rata variasi serat baja dan serat *polypropylene*.



Gambar 7. Grafik penambahan variasi serat baja dan serat *Polypropylene*

Dari hasil penelitian pada penambahan serat baja sebesar 0,5 % terjadi kenaikan modulus elastisitas pada beton ringan agregat breksi *pumice* sebesar 24,71 % terhadap penambahan serat 0 %. Pada penambahan serat sebesar 1 %, 1,5 % dan 2% menunjukkan adanya penurunan nilai modulus elastisitas berturut-turut sebesar 11,4 %, 21,8 % dan 33,5 % terhadap penambahan serat 0,5 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fungsi serat mampu mengurangi regangan dan nilai modulus esaltisitas akan semakin besar.

Berdasarkan grafik hubungan tegangan regangan menunjukkan adanya kenaikan nilai tegangan pada penambahan serat 0,5 % dan 1%

berturut-turut sebesar 15,20 % dan 22,15 %, terhadap penambahan serat 0 %. Pada penambahan serat 1,5 % dan 2 % terjadi penurunan nilai tegangan berturut-turut sebesar 21,20 % dan 12,47 % terhadap penambahan serat 1 %. Nilai regangan tertinggi berada pada penambahan serat sebesar 1,5 %.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton ringan agregat breksi *pumice* dengan penambahan serat baja dan *polypropylene*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat tekan maksimal terjadi pada penambahan serat 1 % sebesar 20,14 MPa. Pada penambahan serat sebesar 1,5 % dan 2 % terjadi penurunan kuat tekan berturut-turut sebesar 8,51 % dan 5,06 %.
2. Nilai modulus elastisitas maksimal terjadi pada penambahan serat 0,5 % sebesar 9125,92 MPa. Pada penambahan serat sebesar 1 %, 1,5 % dan 2 % terjadi penurunan nilai modulus elastisitas berturut-turut sebesar 11,4 %, 21,8 % dan 33,5 %.
3. Komposisi nilai optimum penambahan serat baja terhadap breksi batu apung beton ringan adalah 1 % sebesar 20,14 MPa.

B. Saran

1. Dalam pencampuran serat saat pembuatan beton ringan harus sedikit demi sedikit agar serat dan material beton lainnya dapat tercampur dengan baik.
2. Untuk penggunaan serat dalam campuran beton ringan dapat digunakan variasi serat baja sebesar 1%, dimana variasi serat baja saat 1% dapat mencapai nilai optimum beton dan mempunyai komposisi bahan yang seimbang antara material pendukung beton dengan penambahan serat.

DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute, *ACI Manual of Concrete Practice*:, Part I, *material*, Detroit:American Concrete Institute, 1983.

Anonim. (1989). *Pedoman Beton. SKBI.1.4.53 1989*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Anonim. (1982). *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.

- ASTM, *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*), Annual Book of ASTM Standard, Vo.04.02.2002. Philadelphia:ASTM, 2002.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Semen Portland*, SNI 15-2049-2004. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *Tata Cara Pengadukan Beton*, SNI 03-2493-1991. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Hilang Pijar Bahan Belerang Untuk Kaping*, SNI 6369-2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Tata Cara Pembuatan Kaping Untuk Benda Uji Silinder Beton SNI 6369:2008*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (1992). *Metode Pengujian Kotoran Organik Dalam Pasir Untuk Campuran Mortar Atau Beton*. SNI 03-2816-1992. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton*. SNI 1973:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. SNI 1970:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Spesifikasi Lembaran Penutup Untuk Perawatan Beton*. SNI 4817:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Slump Beton*. SNI 1972:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *Metoda Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di laboratorium*. SNI 03-2493-1991. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *Metode Pengambilan Contoh Untuk Campuran Beton Segar SNI 03-2458-1991*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

- Badan Standardisasi Nasional. (1995). *Tata Cara Pengadukan Pengecoran beton*. SNI 03-3976-1995. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Pencampuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*. SNI 03-3449-2002. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Modulus Elastisitas Batu Dengan Tekanan Sumbu Tunggal*. SNI 2826:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Hannant, D.J. (1978). *Fibre Cements and Fibre Concretes*. Jhon Willey & Sons. New York
- Mulyono, Tri. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nugraha, Paul. dan Antoni. (2007). *Teknologi Beton dan Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Samekto, Wuryati. dan Rahmadiyanto, Candra. (2001). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Kanisius.
- Slamet Widodo. (2008). *Struktur Beton 1 (Berdasarkan SNI-03-2847-2002)*. Universitas Negeri yogyakarta.
- Somayaji, S. (1995). *Civil Engineering Materials*. Prentice Hall: New Jersey.
- Sugiyono. (2006). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tjokrodimulyo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: KMTS FT UGM.